

María AGUILAR ALEJANDRE
Roberto NARVÁEZ RODRÍGUEZ

Universidad de Sevilla
Departamento de Ingeniería Gráfica

Abstract

This paper is presented under the assumption that 3D CAD systems are nowadays powerful tools, not only in advanced geometry but also as learning environments for elementary levels in university undergraduate courses. Their use at these levels is continuously increasing; however, they may be applied without taken into account both the repercussions of recent advances in the fundamentals of architectural geometry and potential risks which may generate certain lacks of necessary knowledge for the current professional practice.

This research is intended to warn about this situation by providing some reflections on fundamentals on architectural geometry. Basic contents and competences are addressed from a contemporary point of view as well as certain caution in dealing with the features of present 3D CAD systems for the teaching and learning process. This reasoning is illustrated with a graphical example of a specific lesson: basic concepts of perspective.

INTRODUCCIÓN

El uso de los sistemas de CAD 3D en la práctica profesional de la arquitectura es un hecho ya consolidado y más que evidente a lo largo y ancho del panorama internacional. Así lo demuestran, no sólo las últimas obras arquitectónicas, las cuales no podrían haber sido concebidas sin estos sistemas, sino también los congresos y publicaciones científicas sobre geometría arquitectónica desarrolladas recientemente.

Dichos materiales son testigo de la cantidad ingente de avances que se están produciendo en el campo de la geometría aplicada, y de cómo estos avances producen cambios significativos en los procesos de diseño y creación. Por este motivo, creemos que dichas contribuciones deberían ser inmediatamente incorporadas al ámbito académico en las titulaciones de grado afectadas por esta coyuntura, como son el título de arquitecto y el título de ingeniero de edificación, entre otras.

En la práctica profesional, las ventajas que las nuevas tecnologías proporcionan sobre cómo afrontar y resolver problemas de geometría arquitectónica parecen indiscutibles, sin embargo, en el ámbito académico la situación es bien diferente, existiendo una heterogeneidad evidente relativa a cómo enseñar y aprender geometría en el contexto universitario. En unos casos, la apuesta pasa por continuar con los métodos tradicionales de la geometría descriptiva, mientras en otros, se sumerge directamente al alumno en el uso y manejo de una aplicación de software determinado.

Pocas, aunque con brillantes excepciones (por ejemplo [Pottmann et al 2007]), son las investigaciones llevadas a cabo sobre qué aprender y cómo aprender geometría aplicada básica que, a su vez, hayan servido como puente de enlace entre las dos opciones citadas anteriormente. En este sentido, y con el respaldo de la investigación y práctica docente de los autores, esta comunicación se presenta asumiendo el uso de los sistemas de CAD 3D como herramientas de aprendizaje. Es decir, que el estudiante hace uso del espacio virtual proporcionado por estos sistemas, no sólo para resolver problemas geométricos, sino para simular, analizar y comprender procesos y conceptos de geometría arquitectónica, en algunos casos para desarrollar competencias no necesariamente ligadas al uso de estos sistemas.

Estas condiciones presentan un cuadro complejo, los estudiantes llegan a la universidad con un nivel de formación, en términos de representación gráfica y conocimientos geométricos, que no siempre es el deseado. El dilema es establecer un punto de partida que, por un lado, permita al estudiante abordar su formación inicial universitaria con garantías de éxito, y por otro permita alcanzar las competencias deseadas. Todo ello en un marco temporal limitado por los créditos de las asignaturas correspondientes y bajo la necesidad de formación específica que el simple uso de los sistemas de CAD 3D requieren, sin entrar aún en la materia propia de la geometría para las titulaciones técnicas.



OBJETIVOS

Reflexionar sobre los fundamentos mínimos de geometría aplicada para los estudios universitarios de grado en el área de expresión gráfica arquitectónica. La idea es sugerir enfoques docentes que, bajo el uso de los sistemas de CAD 3D como herramienta de aprendizaje, permitan desarrollar las competencias básicas, con resultados satisfactorios y bajo las limitaciones temporales existentes en los planes de estudio.

Analizar el uso de los sistemas de CAD 3D como herramienta de aprendizaje, centrándose en los posibles riesgos que su uso indiscriminado podría ocasionar para completar las competencias básicas anteriormente tratadas.

REFLEXIONES SOBRE FUNDAMENTOS DE GEOMETRÍA ARQUITECTÓNICA

Dando por sentado que ciertos fundamentos de geometría son siempre necesarios para desarrollar competencias a cualquier nivel en la expresión gráfica arquitectónica, la cuestión está en qué aprender y cómo aprender y, sobre todo, qué entender por fundamentos de geometría arquitectónica en la situación actual. Multitud de reflexiones podrían aflorar al respecto, de las cuales se detallan algunas a continuación.

Entendiendo la geometría arquitectónica como una rama de la geometría aplicada, es lógico que dependa en gran medida de los medios utilizados para hacerla aplicable. Con este fin, gran variedad de herramientas y dispositivos han sido utilizados a lo largo de la historia de acuerdo con la tecnología propia de cada época.

Las tecnologías actuales, especialmente las relacionadas con la informática y, por consiguiente, con los sistemas de CAD 3D, están en continuo cambio y desarrollo. Los avances que se producen en este medio no están aislados, sino que en ocasiones poseen ciertos vínculos y repercusiones sobre los fundamentos de esta ciencia aplicada. Identificar y evaluar dichas repercusiones es una tarea compleja, y más aún planificar su implementación en el aprendizaje a niveles básicos. Sin embargo, una cuestión parece claramente estable y aceptada por la comunidad científica y profesional al respecto, esta es el uso de del espacio virtual tridimensional como entorno de trabajo.

Por ello, hay que concentrar esfuerzos hacia los conceptos necesarios para manejarse en este entorno. Pero por otro lado, este no es el único entorno laboral puesto que más allá del ordenador existen bocetos, planos, esquemas conceptuales, por citar algunas herramientas bidimensionales e incluso no digitales, que son imprescindibles para el desarrollo profesional actual, ya sea en la fase de diseño, ejecución, comunicación, análisis, etc. Ante estos condicionantes y entendiendo que estamos tratando con una ciencia aplicada, encontramos necesario distinguir entre los siguientes tipos de fundamentos en geometría arquitectónica: *contenidos y competencias*.

CONTENIDOS BÁSICOS DE GEOMETRÍA

Estos contenidos se refieren a conceptos teóricos que no dependen de la disciplina específica en la que se aplique la geometría. Son temas atemporales y prácticamente infinitos. Algunos ejemplos de ello son: las propiedades de un triángulo, un cubo y una esfera o las invariantes proyectivas de ciertos tipos de proyección. Parte de estos contenidos, podrían haber sido adquiridos durante las etapas de enseñanza primaria y secundaria, por lo que, los contenidos a impartir en la enseñanza universitaria han de ser cuidadosamente escogidos para cubrir, al menos, el mínimo exigido por la titulación en esta materia. Es más, no es útil ni provechoso dedicar más tiempo del estrictamente necesario en enseñar contenidos que no sean los que realmente se necesitan. De hecho, en la actualidad, los contenidos están disponibles por todas partes (internet, publicaciones, bibliotecas...) lo verdaderamente importante es saber seleccionar la información que nos interesa así como desarrollar la capacidad crítica suficiente para su correcta elección según su finalidad.

En este sentido, debe dejarse claro, que a pesar de proponer trabajar en espacios virtuales 3D, las representaciones bidimensionales como proyecciones y secciones siguen siendo necesarias, no sólo para comunicar ideas sino también como una herramienta importante de diseño. Por mencionar algunos ejemplos presentes en la actividad profesional diaria: dibujar bocetos y croquis, realizar secciones por un punto específico, trabajar con información discreta de geometrías complejas, diseñar formas bidimensionales concretas, etc. Incluso en aquellos casos en los que pudiera parecer que el laboratorio virtual 3D que proporcionan los sistemas de CAD pudiera ser suficiente para la creación de nuevas arquitecturas, es también probable que haya que enfrentarse al manejo de antiguas representaciones bidimensionales, especialmente cuando se trata de trabajos patrimoniales en edificios o espacios urbanos existentes.

Por todo lo anterior, debe prestarse especial atención a que estos contenidos de representación bidimensional también sean cubiertos, más aún cuando el principal entorno de trabajo es el espacio virtual de los sistemas de CAD que, en su uso continuado en el ámbito académico, puede entenderse como una herramienta autosuficiente, lejos de la realidad profesional descrita anteriormente.

Intentando responder a la pregunta sobre qué aprender, se destacan por tanto las dos cuestiones planteadas. Por un lado los contenidos de geometría del espacio necesarios, y no más, para hacer uso del entorno tridimensional de los sistemas de CAD. Esto es, las propiedades geométricas mínimas para generar modelos 3D, así como las condiciones métricas y formales que permitan analizarlos, extraer propiedades y, en definitiva, tener la capacidad de adquirir nuevos conocimientos haciendo uso de los sistemas de CAD como un laboratorio virtual de aprendizaje. Por otro lado, es fundamental no perder la noción de la realidad profesional, donde el manejo de información bidimensional es habitual. Por ello deben incluirse los contenidos básicos que permitan entender las representaciones planas, así como conocer sus propiedades y utilidades.

COMPETENCIAS BÁSICAS EN GEOMETRÍA ARQUITECTÓNICA

En una sociedad avanzada y un complejo mercado laboral, donde la información básica está disponible prácticamente para todo el mundo, la adquisición de contenido en sí mismo aparece como una tarea poco útil en comparación al desarrollo de habilidades y actitudes. Detrás de esta idea aparece el término *competencia* definido como la cualidad de un individuo para llevar a cabo una tarea satisfactoriamente. Sin embargo, las competencias no están vacías de contenido, pero sí es cierto que éste debe ser adaptado y acomodado para que liberen el espacio y tiempo suficiente al alumno, y pueda así alcanzar otras cualidades como habilidades, comportamientos y actitudes.

La principal ventaja entre entrenar competencias y centrarse única y exclusivamente en contenidos es que, en el futuro, los estudiantes ya convertidos en profesionales se puedan enfrentar a cualquier problema, por complejo que sea, aplicando las competencias adquiridas y sin tener que depender del contenido del problema en sí mismo. Para este fin, en el caso de la geometría arquitectónica, no sólo es importante determinar qué aprender sino también cómo aprenderlo. La forma en que cualquier concepto es aprendido debe poderse desarrollar posteriormente en cualquier momento de nuestra vida profesional o personal, y facilitar de esta manera el aprendizaje permanente o a lo largo de la vida (*Life Long Learning*). La adquisición de competencias introduce así en quien las desarrolla un valor añadido ofreciéndole flexibilidad, adaptabilidad, satisfacción y motivación.

Establecer las competencias mínimas que un estudiante de grado universitario debería alcanzar en materia de geometría arquitectónica es motivo de un extenso y largo debate, pero lo que sí parece claro es que los estudiantes deberían entrenar y desarrollar estas competencias empleando herramientas similares a aquellas que utilizarán durante su vida profesional. En este sentido, los sistemas de CAD 3D parecen ser la herramienta correcta y el camino indicado para alcanzar esta meta. Además, los sistemas de CAD 3D no son sólo una herramienta útil para aprender y trabajar, también constituyen un laboratorio que permite realizar investigaciones de muchas clases, como por ejemplo descubrir propiedades geométricas a partir de modelos 3D o desarrollar procedimientos geométricos para solventar problemas técnicos.

En definitiva, si los sistemas de CAD 3D constituyen un laboratorio virtual en el cual se promueve el aprendizaje de la geometría y, además, son una herramienta de infinitos usos en el campo profesional, la principal competencia que deberían desarrollar los estudiantes es la de manejar y desenvolverse en el espacio virtual de estos sistemas. Esta competencia debe entrenarse desde serios fundamentos geométricos que habiliten al estudiante practicar las operaciones o procedimientos necesarios para convertir a estas aplicaciones en sólidas herramientas de investigación y aprendizaje continuo, a la vez de desarrollar la capacidad crítica que permita identificar y tomar consciencia de sus limitaciones, ventajas, inconvenientes y protocolos habituales.

PROCEDIMIENTO, AUTOMATISMO Y CONCEPTO

Cuando los sistemas de CAD 3D se plantean como herramienta de aprendizaje en la docencia de la geometría arquitectónica, uno de los dilemas está en la elección de la aplicación comercial a elegir. La oferta actual de programas de CAD es diversa, y todas las compañías se encuentran inmersas en un constante proceso de mejora e implementación de nuevas prestaciones que aventajen a la competencia. En la mayoría de los casos, las novedades se centran en la dotación de nuevas y/o más potentes herramientas, así como en el aumento de la productividad; procedimientos que antes consumían una importante cantidad de tiempo, pueden hoy realizarse de una forma rápida y con operaciones automáticas.

La eficiencia que persiguen las aplicaciones comerciales de CAD 3D, también se demanda en los procesos de enseñanza y aprendizaje, donde la actividad presencial se va reduciendo en tiempo, mientras los contenidos en la sociedad actual aumentan a un ritmo vertiginoso. De ahí la importancia, comentada anteriormente, del aprendizaje basado en competencias, y sobre todo en aquellas encaminadas a aprender a aprender. La cuestión está en si hay que poner límite, y dónde estaría, a los avances que estos sistemas proporcionan para usarlos en la docencia de los fundamentos de geometría arquitectónica.



La respuesta a esta pregunta no es simple, y genera nuevas incógnitas con la necesidad de contemplar y analizar la actividad docente y de aprendizaje desde distintos prismas. En este análisis están implicados el profesorado y los avances tecnológicos, los conceptos básicos de geometría aplicada, las competencias básicas de geometría, tanto académicas como profesionales, y por tanto, incluso la práctica profesional. A continuación se analizan brevemente cada uno de estos ámbitos con la intención de establecer ciertas conclusiones al respecto.

Desde el punto de vista del profesorado, y respecto a la elección de una u otra aplicación comercial, hay que decir que, la decisión no es tan trascendente en cuanto a los fundamentos de geometría arquitectónica se refiere. En primer lugar, bien entrados ya en la segunda década del siglo XXI, las prestaciones básicas que la mayoría de sistemas de CAD 3D profesionales proporcionan son similares. Las diferencias de las nuevas versiones están principalmente en herramientas para geometría avanzada, las cuales no siempre tienen repercusiones directas en unos fundamentos, hoy día relativamente estables. En cualquier caso, siempre debemos estar al día de los avances que se van produciendo para analizarlos, evaluar sus posibles repercusiones e implementarlos en los fundamentos si fuera necesario. En segundo lugar, es de destacar que, a pesar de estos avances, sigue existiendo un factor común en todas las aplicaciones, esto es el uso de un entorno de trabajo dominado por el espacio tridimensional virtual que estos sistemas proporcionan. Será, por tanto, el manejo de este espacio la principal competencia a desarrollar en el estudiante.

Aunque existen procedimientos y conceptos en la representación tridimensional que son comunes en las aplicaciones de software más habituales, dependiendo de la aplicación elegida e incluso de la versión de una misma aplicación, algunas de las operaciones geométricas necesarias para el aprendizaje de la geometría pueden realizarse de forma automática no. Desde el punto de vista docente y con el uso del CAD 3D como herramienta de aprendizaje, el profesorado debe gestionar la implantación de dichas operaciones automáticas en el proceso formativo. En algunos casos es posible que convenga la utilización de estos automatismos, en otros casos es posible que su uso provoque carencias conceptuales esenciales para una aplicación coherente de estas herramientas.

Para facilitar la evaluación e implementación de los avances proporcionados por los sistemas de CAD 3D en el aprendizaje, se propone a continuación el análisis de tres conceptos que deben contemplarse en la planificación de la docencia (procedimiento, automatismo y concepto). A modo de muestra, la exposición se ilustra con ejemplos sencillos de aplicación, todos ellos relacionados con una misma lección que se estima no debe faltar en un curso de fundamentos de geometría arquitectónica: conceptos básicos de perspectiva cónica. Para ello, se propone la determinación de la perspectiva cónica, bajo ciertas condiciones, del edificio de la figura (casa en Leiria – Aires Mateus) - Fig 1.

Procedimiento geométrico: desarrollo de un proceso por parte de una persona para resolver una operación geométrica compleja y concreta siguiendo la ejecución de sub-operaciones más simples. En el ejemplo de aplicación propuesto, el procedimiento geométrico consistiría en las siguientes sub-operaciones: (1) trazar desde el punto de vista los rayos de proyección que pasan por los vértices del objeto de representación, (2) determinar los puntos de intersección de los rayos trazados con el plano del cuadro, (3) unir ordenadamente dichos puntos para obtener la perspectiva cónica requerida - Fig 2.

Automatismo geométrico: desarrollo de un proceso por parte de un programa informático para resolver por sí solo y en un solo paso una operación geométrica concreta solicitada. En el ejemplo de aplicación propuesto, el automatismo geométrico consistiría en definir la posición de una cámara (punto de vista) y su objetivo (punto principal) para que el programa resuelva el problema y proporcione la perspectiva de forma automática - Fig 3.

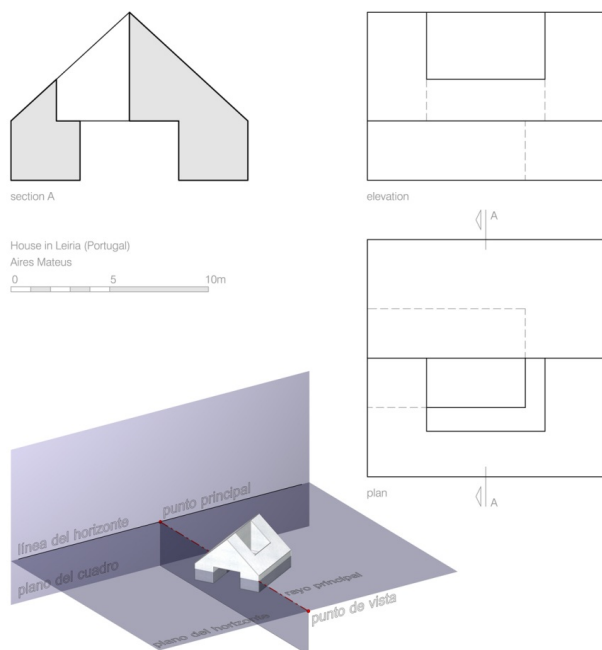


Fig 1. Arriba: proyecciones diédricas del objeto de representación. Centro: condiciones del sistema para la determinación de la perspectiva cónica. Abajo: imagen real del edificio. 2012. Elaboración propia.

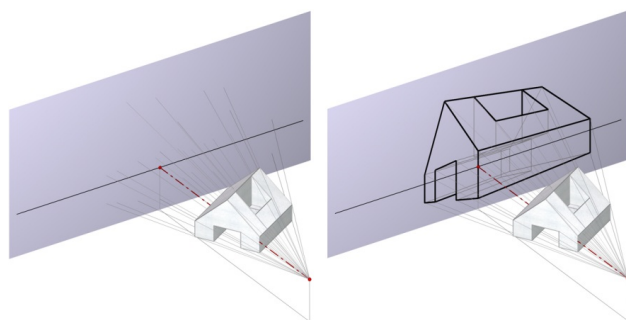


Fig 2. Procedimiento geométrico para determinar la perspectiva cónica del objeto de representación. 2012. Elaboración propia.



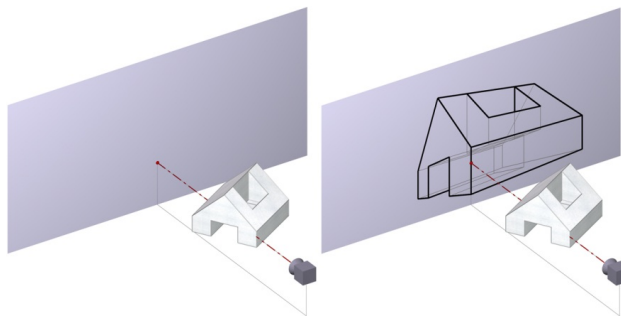


Fig 3. Automatismo geométrico para determinar la perspectiva cónica del objeto de representación.
2012. Elaboración propia.

Concepto geométrico: idea o conjunto de ideas que conforma el entendimiento fundado del resultado de una operación geométrica concreta, ya sea simple o compleja. En el ejemplo de aplicación propuesto, los conceptos geométricos pretendidos son los relacionados con los fundamentos de perspectiva cónica: proyección cónica y elementos definitorios del sistema, variantes e invariantes proyectivas, puntos de fuga, etc.

Para una titulación de grado, donde se requiere una formación para el ejercicio profesional, es importante tanto el conocimiento de los automatismos que ofrecen los programas de CAD como el concepto que existe detrás de éstos. Sin embargo, no siempre es necesario realizar manualmente el procedimiento para entender el concepto que existe detrás. Y ésta es la clave para decidir dónde poner el límite a los automatismos. De forma genérica, podría proponerse el siguiente criterio, diferenciando entre dos situaciones distintas, y teniendo en cuenta la limitación temporal existente en la programación:

- En las capacidades y contenidos propios de la educación preuniversitaria deben usarse los automatismos (se dan por conocidos y no debe emplearse tiempo en repetirlos).
- En aquellos contenidos propios de la educación universitaria que son susceptibles de llevarse a cabo de forma automática, se realizará el procedimiento geométrico una sola vez, y siempre que este tenga interés para que el alumno alcance el concepto geométrico de los resultados. Una vez que el alumno pasa por esa experiencia, no se debe emplear más tiempo en que repita el procedimiento una y otra vez, cuando éste se puede llevar a cabo de forma automatizada.

Una combinación adecuada de procedimientos geométricos y automatismos podría resultar en un aprendizaje eficiente, coherente y basado en los conceptos fundamentales que permitan el futuro desarrollo en caso de que fueran necesarios, bien durante la etapa académica, de investigación o laboral.

Volviendo al ejemplo de aplicación, la obtención de la perspectiva mediante los procedimientos geométricos explicados significa un ejercicio indudablemente interesante. Aunque se está obviando la posibilidad de obtener la perspectiva de forma automática, la experiencia de trazar cada uno de los rayos de proyección, dibujar línea a línea la perspectiva y analizar el resultado (en el espacio virtual del sistema de CAD) para extraer conclusiones propicia un aprendizaje por descubrimientos mucho más efectivo y duradero que si se expusieran de forma teórica las propiedades de la perspectiva cónica. El interés del ejercicio no está en el resultado (la perspectiva) que podría obtenerse automáticamente, sino en el proceso de resolución como proceso también de aprendizaje de los conceptos básicos pretendidos.

Posteriormente, una vez entendido el concepto básico de perspectiva cónica, podrían realizarse de forma automática nuevas perspectivas del mismo objeto. En este caso con nuevas variantes que permitan analizar y profundizar en el conocimiento de la perspectiva. Por poner un ejemplo, de entre otras muchas posibilidades, podrían proponerse dos variantes: (1) modificando la posición del plano del cuadro en paralelo a la posición original - Fig 4 - y (2) modificando la posición del punto de vista sobre el rayo principal original - Fig 5. El análisis de los resultados obtenidos de forma automática, permitiría una comparación rápida de las diferencias existentes entre cambiar la posición del plano del cuadro y cambiar la posición del observador, así como comprender las condiciones bajo las cuales se generan proyecciones cónicas más o menos cercanas a la percepción humana de la realidad (por citar algunas).

Por último, y como ejercicio práctico de útil aplicación profesional, se propone la realización a mano alzada de un boceto perspectivo del mismo objeto representado. Con este ejercicio debe quedar de manifiesto el conocimiento y la aplicación de los conceptos pretendidos. Por citar algunos: las variantes e invariantes proyectivas de la perspectiva cónica, el uso auxiliar de puntos de fuga y su posición relativa al punto de vista para generar proyecciones cercanas a la percepción humana del objeto de representación - Fig 6.

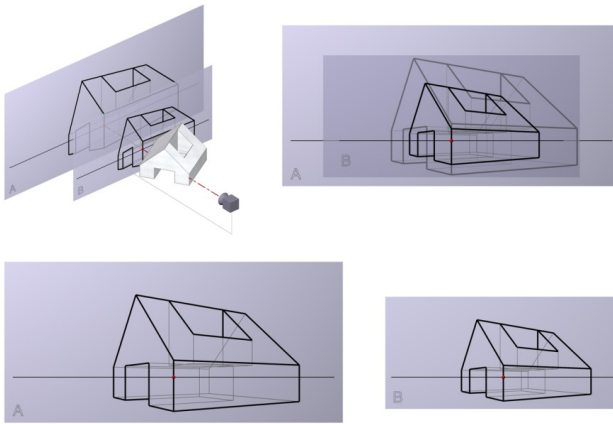


Fig 4. Obtención de perspectivas semejantes por desplazamiento del plano del cuadro. 2012. Elaboración propia.

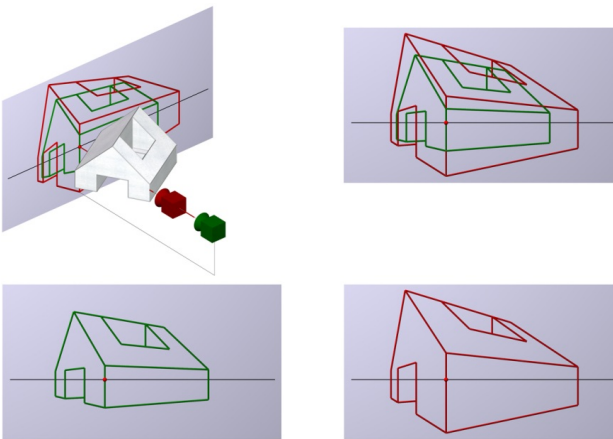


Fig 5. Obtención de perspectivas distintas por desplazamiento del punto de vista. 2012. Elaboración propia.



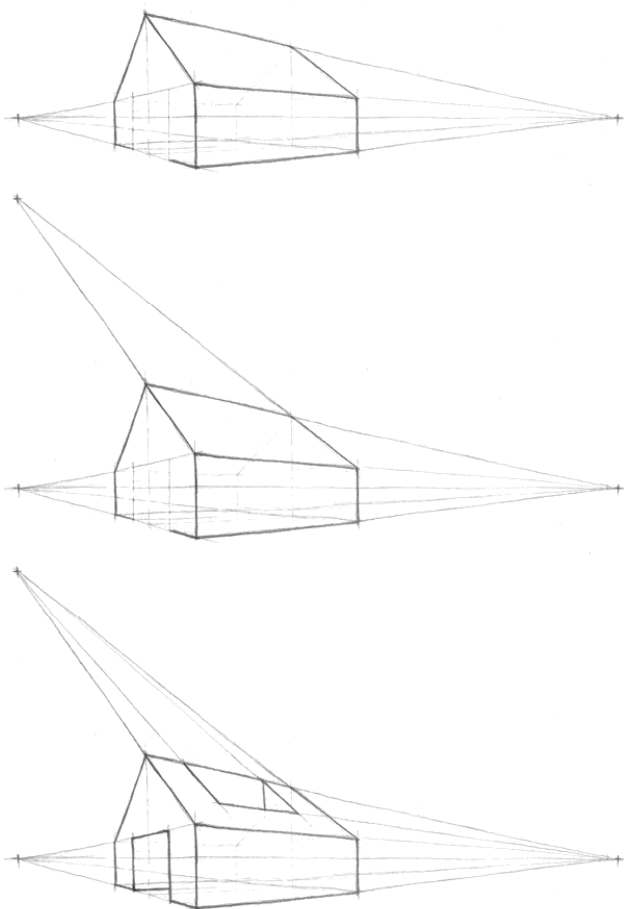


Fig 6. Arriba: construcción del volumen general con el auxilio de las tres direcciones ortogonales principales (línea del horizonte y dos puntos de fuga más líneas verticales – plano del cuadro vertical -). Centro: determinación de nuevos puntos de fuga. Abajo: construcción de los detalles con el auxilio de nuevos puntos de fuga, además de los anteriores. 2012. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Ante la diversidad de enfoques en cuanto a cómo abordar la formación universitaria inicial en geometría arquitectónica, es deseable que la comunidad científica realice aportaciones hacia un objetivo común en esta materia, que se propone en torno al uso de los sistemas de CAD 3D como herramienta de aprendizaje.

Sobre la cuestión de qué enseñar, se ha destacado la importancia de entender que los contenidos, cada vez más extensos en la sociedad contemporánea, deben restringirse a lo mínimo necesario. Por un lado, las propiedades geométricas básicas que permitan la generación de modelos tridimensionales. Por otro lado, las condiciones de análisis métrico y formal de dichos modelos. Además, es necesario contemplar los contenidos relacionados con la representación bidimensional, la cual tiene una vital importancia en la actividad profesional, y que bajo el uso continuado de los sistemas de CAD en el ámbito académico podrían quedar al margen, alejándose de la realidad profesional descrita.

En la cuestión de cómo enseñar, las competencias ganan importancia respecto a los contenidos. Los sistemas de CAD 3D se revelan como una importante herramienta de aprendizaje, ya que permiten abordar el estudio de geometrías complejas con pocos conocimientos previos, a la vez que potencian el desarrollo de competencias necesarias para la actividad profesional habitual. Por tanto, la principal competencia básica a desarrollar, será el manejo conceptual del espacio virtual que proporcionan los sistemas de CAD 3D. Esto

permite, tanto alcanzar nuevos conocimientos o contenidos, mediante el análisis de los modelos generados, como desarrollar otras competencias más avanzadas para su aplicación constante en la profesión, ya sean bajo el entorno de estos sistemas o mediante el uso de otros procedimientos.

A pesar de estas ventajas, los sistemas de CAD 3D como herramienta de aprendizaje tienen el peligro potencial de desvincular totalmente al alumno de la representación plana, cuyo uso es imprescindible en la actividad profesional. Por ello, deben planificarse las actividades de aprendizaje enfocadas a que el alumno desarrolle las competencias, tanto de interpretar, como de expresar los resultados de su trabajo en los Sistemas de Representación habitualmente utilizados en la actividad profesional, realizando el uso del CAD 3D y del dibujo a mano alzada de croquis y bocetos con rigor geométrico.

Para concluir, la utilización de las operaciones automáticas, cada vez más numerosas en los sistemas de CAD 3D, son un arma de doble filo para la docencia. Por un lado, su uso indiscriminado podría generar carencias de conocimiento importantes, aunque por otro lado, como queda de manifiesto en el ejemplo de aplicación expuesto, su uso combinado con la experimentación de ciertos procedimientos geométricos, pueden ayudar notablemente a la comprensión de conceptos así como al desarrollo de las competencias pretendidas.

Referencias bibliográficas

AAVV 2008 *Advances in Architectural Geometry*. Conference Proceedings AAG0. Vienna, Austria.

Chen, DM 2000 'Application of 3D CAD for Basic Geometric Elements in Descriptive Geometry'. *Engineering Design Graphic Journal*, no.64, pp.10-17.

Croft, FM 1998 'The need (?) for descriptive geometry in a world of 3-D modeling'. *Engineering Design Graphic Journal*, vol. 3, no. 62, pp.4-8.

Pottmann, H. et al 2007 *Architectural Geometry*. Bentley Institute Press, Exton (Pennsylvania).

Ryan, DL 1992 *CAD/CAE descriptive geometry*. CRC Press, Boca Ratón (Florida).

Standiford, K, Standiford, D 2000 *Descriptive geometry: an integrated approach using AutoCAD*. Delmar, Clifton Park (New York).

